氯化铵对泌乳奶牛生产性能及血尿代谢的影响

王　坤[1]　赵圃毅[1]　刘　威[1]　卜登攀[1,2,3*]　刘士杰[4]　张开展[5]

（1.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京　100193；2.中国农业科学院-世界农用林业中心，农用林业与可持续畜牧业联合实验室，北京　100193；3.东北农业大学，食品安全与营养协同创新中心，哈尔滨　150030；4.中国饲料工业协会，北京　100125；5.北京中地种畜有限公司，北京　100028)

摘　要：本试验通过探究饲粮添加不同水平的氯化铵对泌乳奶牛生产性能及血尿代谢的影响，旨在确定氯化铵在泌乳奶牛饲粮中的适宜添加量。采用完全随机设计，将 48 头泌乳日龄、体重、胎次及产奶量相近的中国荷斯坦奶牛随机分为 4 组，每组 12 头，各组氯化铵添加量分别为每头牛 0（对照）、150、300 和 450 g/d。预试期 14 d，正试期 56 d。结果表明：1）干物质采食量（P=0.012）和产奶量（P=0.008）随氯化铵添加量的增加线性降低，300 g/d 组和 450 g/d 组显著低于对照组（P<0.05）；乳脂率和乳糖率未受氯化铵添加的影响（P>0.05），乳蛋白率有线性升高的趋势（P=0.094）。2）随氯化铵添加量的增加，尿液 pH 呈二次曲线降低（P=0.012），且 300 g/d 组和 450 g/d 组显著低于对照组（P<0.05）；血清的氯离子（P=0.002），尿液的氯离子（P=0.004）、钙离子（P<0.0001）、磷离子（P=0.017）及镁离子（P=0.048）浓度均随氯化铵添加量的增加线性升高。3）血清尿素浓度随氯化铵添加量的增加线性升高（P=0.018），300 g/d 组和 450 g/d 组显著高于对照组（P<0.05）。综上所述，泌乳奶牛饲粮中氯化铵添加量不能超出 300 g/d，推荐剂量为 150 g/d。

关键词：奶牛；氯化铵；生产性能；血尿代谢

中图分类号：S823

自Leoschke等[1]报道氯化铵(ammonium chloride,AC)可作为一种饲料酸化剂降低水貂尿液pH从而预防其尿结石的形成以来，氯化铵已逐渐应用于牛[2-3]、山羊[4-6]、绵羊[7]、狗[8]、猫[9]以及马[10]等多种动物的实际生产中。此外，鉴于氯化铵较强的酸化作用，在基础研究领

收稿日期：2015-12-17

项目基金：“十二五”科技支撑（2012BAD12B02-5）；农产品质量安全监管（饲料）项目“反刍动物饲料安全评价”；中国农业科学院科技创新工程（ASTIP-IAS07）

作者简介：王坤（1990—），男，山东烟台人，硕士研究生，研究方向为反刍动物营养与饲料科学。手机：13126973470 E-mail：cang327@163.com

*通讯作者：卜登攀，研究员，硕士生导师，E-mail：burdenpan@126.com

域已广泛应用于代谢性酸中毒模型的构建[11-12]。

组成氯化铵的2种离子均可通过肾脏快速代谢，不会在机体组织和动物性产品中聚集残留；在动物体内代谢之后，氯化铵会以尿素、铵离子和氯离子的形式排泄掉，这3种物质均为动物粪便的原有成分，不会造成环境污染，所以氯化铵又是一种绿色环保的饲料添加剂[13]。然而，目前并没有相应的耐受性研究用以评价氯化铵对于特定物种的使用安全性。氯化铵能够有效降低尿液pH并预防尿结石的形成，但由于其适口性较差及潜在的毒性危险，氯化铵在实际生产中的使用受到限制[14]。本试验通过探究饲粮中添加不同水平的氯化铵对泌乳奶牛生产性能及血尿代谢的影响，旨在确定氯化铵在泌乳奶牛饲粮中的适宜添加量，为其在实际生产中的应用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计与饲养管理

试验采用完全随机设计，选用48头泌乳日龄（170±20） d，体重（550±50） kg，产奶量（25.0±1.5） kg的3胎健康中国荷斯坦奶牛，随机分为4组，各组氯化铵添加量分别为每头牛0（对照组）、150、300和450 g/d。试验牛使用自动饲喂系统（RIC systerm）饲喂，每天饲喂2次（07:00和14:00），氯化铵（有效成分含量>99.0%）每天等量添加2次，每头牛单独添加后搅拌均均，自由采食。自由饮水，每天挤奶3次（06:30、13:30和20:30）。预试期14 d，正试期56 d。基础饲粮组成及营养水平见表1。以全混合日粮形式饲喂。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米青贮 Corn silage	21.59
苜蓿 Alfalfa hay	11.39
膨化大豆 Extruded soybean	1.68
豆粕 Soybean meal	10.15
压片玉米 Flaked corn	15.61
玉米粉 Corn powder	8.23
玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS	8.57
全棉籽 Whole cottonseed	6.51
菜籽粕 Rapeseed meal	1.24
苹果粕 Apple pomace	1.72
甜菜粕 Beet pulp	4.79
食盐 NaCl	0.38

石粉 Limestone	1.05
碳酸氢钠 $NaHCO_3$	1.39
氧化镁 MgO	0.24
碳酸氢钾 $KHCO_3$	0.91
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.05
莫能菌素 Monensin	0.01
沸石 Zeolite	0.05
饱和游离脂肪 Saturated free fatty[1)]	1.77
酵母培养物 Yeast culture[2)]	0.62
糖蜜 Syrup[3)]	1.48
预混料 Premix[4)]	0.57
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[5)]	
干物质 DM	95.50
粗蛋白质 CP	16.27
粗脂肪 EE	5.24
产奶净能 NE_L/（MJ/kg）	7.53
酸性洗涤纤维 ADF	23.33
中性洗涤纤维 NDF	34.39
淀粉 Starch	19.28
糖 Sugar	6.26
粗灰分 Ash	8.24
钙 Ca	0.75
磷 P	0.32
镁 Mg	0.44
钠 Na	0.54
钾 K	1.33
氯 Cl	0.61

[1)]购自德国百事美公司 Brought from Berg+Schmidt Co., Germany。

[2)]购自美国达能威公司 Brought from Diamond V Co., USA。

[3)]购自台湾味丹集团 Brought from VEDAN group。

[4)]每千克预混料含有 One kg of premix contained the following：Cu 1 230 mg,Zn 4 950 mg,Mn 1 760 mg,I 50 mg,Se 61 mg,Co 37 mg,VA 504 800 IU,VD_3 88 800 IU,VE 2 100 IU,烟酸 nicotinic acid 700 mg。

[5)]产奶净能为计算值，其他为实测值。NE_L was a calculated value，while the others were measured values.

1.2 样品采集与指标测定

1.2.1 采食量

自动饲喂系统每天记录饲粮采食量，每周采集1次饲粮样品及剩料，测定干物质含量用以计算每头牛每天的干物质采食量。

1.2.2　产奶量及乳成分

每天记录每头牛的产奶量，每2周采集1次奶样，按早、中、晚4:3:3的比例混合于加有重铬酸钾防腐剂的50 mL上机管中，4 ℃保存过夜，第2天送往农业部奶及奶制品质量监督检验测试中心用FOSS乳成分分析仪（MilkoScan™ FT6000）测定乳成分。

1.2.3　血清

正试期开始后，每2周于晨饲后3 h尾根静脉或动脉采集10 mL血液于真空采血管中。室温静止30 min后于4 ℃冷藏过夜，3 000×*g* 4 ℃离心15 min后分离血清。血清样品于-20 ℃冰箱冷冻保存，试验结束后血清样品送往北京中同蓝博临床检验所，使用全自动生化分析仪（日立7080）检测总蛋白、白蛋白、球蛋白浓度，谷丙转氨酶及谷草转氨酶活性等血清生化指标；使用电解质分析仪（奥迪康AC900）检测血清中的钾离子、钠离子、氯离子、钙离子、磷离子、镁离子的浓度。

1.2.4　尿液

试验最后连续采集3 d尿液，人工刺激奶牛外阴部收集中段尿液（11:00—11:45）[3]，立即使用便携式pH计（梅特勒-托利多Seven Go™）检测尿液pH。当天样品取50 mL于4 ℃冷藏保存，3 d样品等比混合后取5 mL于-20 ℃冷冻保存，试验结束后送往北京中同蓝博临床检验所，使用电解质分析仪（奥迪康AC900）检测尿液中的钾离子、钠离子、氯离子、钙离子、磷离子、镁离子的浓度。

1.3　数据分析

数据采用SAS 9.3软件MIXED模块进行统计学检验。统计模型中包含试验牛的随机因素及试验处理的固定因素。采用Tukey法进行多重比较，同时对试验处理用多项式矩阵检验了线性、二次曲线的显著性。变量的统计结果均以最小二乘平均值形式列表，显著水平为$P<0.05$，有变化趋势为$0.05\leqslant P<0.10$。

2　结果与分析

2.1　干物质采食量、产奶量和乳成分

饲粮添加不同水平的氯化铵对泌乳奶牛干物质采食量、产奶量及乳成分的影响见表2。随饲粮氯化铵添加量的增加，干物质采食量线性降低（$P=0.012$），且300 g/d组和450 g/d组显著低于对照组和150 g/d组（$P<0.05$）；产奶量同干物质采食量呈现相同的变化趋势，线性降

低（P=0.008），且与对照组相比，300 g/d组和450 g/d组显著降低（P<0.05）；4%乳脂校正乳产量（P=0.081）及能量校正乳产量（P=0.072）均随氯化铵添加量的增加呈现线性降低趋势；乳脂率、乳脂产量、乳糖率、总固形物含量及非脂固形物含量未受饲粮氯化铵添加的影响（P>0.05）；乳蛋白率呈线性升高趋势（P=0.094），但乳蛋白产量具有线性降低的趋势（P=0.055）；乳糖产量随氯化铵添加量的增加线性降低（P=0.043），且450 g/d组显著低于对照组（P<0.05）。

表 2　氯化铵对泌乳奶牛干物质采食量、产奶量及乳成分的影响

Table 2　Effects of AC on DMI, yield and composition of milk of lactating cows

项目 Items	氯化铵添加量 AC supplemental level/(g/d)				SEM	P 值 P-value	
	0	150	300	450		线性 Linear	二次 Quadratic
干物质采食量 DMI/(kg/d)	20.3^{a}	21.0^{a}	17.2^{b}	17.1^{b}	1.02	0.012	0.717
产奶量 Milk yield/(kg/d)	24.9^{a}	21.5^{ab}	19.5^{b}	18.9^{b}	1.35	0.008	0.422
4%乳脂校正产量 4% FCM yield/(kg/d)[1)]	22.3	18.6	18.4	18.0	0.10	0.081	0.336
能量校正乳产量 ECM yield /(kg/d)[2)]	25.0	21.0	20.5	20.3	1.11	0.072	0.320
乳脂率 Milk fat percentage/%	3.36	3.08	3.50	3.64	0.120	0.310	0.468
乳脂产量 Milk fat yield/(kg/d)	0.82	0.66	0.69	0.69	0.036	0.288	0.308
乳蛋白率 Milk protein percentage/%	3.28	3.28	3.30	3.52	0.059	0.094	0.296
乳蛋白产量 Milk protein yield/(kg/d)	0.81	0.70	0.66	0.66	0.035	0.055	0.320
乳糖率 Lactose percentage/%	4.29	4.25	4.30	4.22	0.018	0.777	0.887
乳糖产量 Lactose yield/(kg/d)	1.07^{a}	0.92^{ab}	0.86^{ab}	0.81^{b}	0.056	0.043	0.584
总固形物含量 Total solids content/%	11.39	10.99	11.58	11.84	0.179	0.297	0.449
非脂固形物含量 Solids-not fat content/%	8.35	8.21	8.35	8.46	0.051	0.620	0.600

[1)]4%乳脂校正乳产量(kg/d)=0.4×产奶量(kg/d)+15×乳脂产量(kg/d)[参考 NRC(2001）]。4% FCM yield (kg/d)=0.4×milk yield(kg/d)+15×milk fat yield (kg/d) [referred to NRC （2001)].

[2)]能量校正乳产量(kg/d)=0.327×产奶量(kg/d)+ 12.95×乳脂产量(kg/d) +7.65×乳蛋白产量(kg/d)。ECM yield (kg/d)=0.327×milk yield (kg/d) +12.95×milk fat yield (kg/d) +7.65×milk protein yield (kg/d).

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，相同或无字母表示差异不显著(P>0.05)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2　血清、尿液离子浓度及尿液pH

饲粮添加不同水平的氯化铵对泌乳奶牛血清、尿液离子浓度及尿液pH的影响见表3。随

饲粮氯化铵添加量的增加，血清氯离子的浓度线性升高（*P*=0.002），且450 g/d组显著高于对照组和150 g/d组（*P*<0.05）；血清钙离子的浓度呈现二次曲线变化（*P*=0.003）；血清钾离子浓度呈线性升高趋势（*P*=0.081），血清钠离子、磷离子及镁离子的浓度随氯化铵添加量的增加未呈现线性或二次变化（*P*>0.05）。尿液pH随饲粮氯化铵添加量的增加呈二次曲线降低（*P*=0.012），且300 g/d组和450 g/d组显著低于对照组（*P*<0.05）；尿液氯离子（*P*=0.004）、钙离子（*P*<0.0001）、磷离子（*P*=0.017）及镁离子（*P*=0.048）的浓度均随氯化铵添加量的增加线性升高，且300 g/d组和450 g/d组的尿液氯离子、钙离子及磷离子的浓度显著高于对照组（*P*<0.05），而450 g/d组尿液镁离子浓度显著高于对照组（*P*<0.05），300 g/d组尿液镁离子浓度与对照组差异不显著（*P*>0.05）；饲粮添加不同水平的氯化铵对尿液钠离子浓度未产生显著影响（*P*>0.05）。

表 3　氯化铵对泌乳奶牛血清、尿液离子浓度及尿液 pH 的影响

Table 3　Effects of AC on serum and urine ion concentrations and urine pH of lactating cows

项目 Items	氯化铵添加量 AC supplemental level/(g/d)				SEM	*P* 值 *P*-value	
	0	150	300	450		线性 Linear	二次 Quadratic
血清 Serum/(mmol/L)							
钾离子 K^+	4.27	4.24	4.30	4.44	0.044	0.081	0.289
钠离子 Na^+	135.0	133.4	135.2	135.0	0.42	0.435	0.197
氯离子 Cl^-	93.1^{bc}	92.2^{c}	94.3^{ab}	95.4^{a}	0.70	0.002	0.130
钙离子 Ca^{2+}	2.17	2.11	2.12	2.22	0.025	0.184	0.003
磷离子 P^{5+}	1.91	1.80	1.83	1.77	0.030	0.175	0.703
镁离子 Mg^{2+}	1.02	1.02	1.00	1.02	0.005	0.980	0.781
尿液 pH Urine pH	8.19^{a}	7.91^{ab}	7.67^{b}	6.79^{c}	0.303	<0.0001	0.012
尿液 Urine/(mmol/L)							
钾离子 K^+	109.2^{a}	64.2^{b}	63.8^{b}	63.7^{b}	11.33	0.045	0.144
钠离子 Na^+	74.5	69.2	69.1	68.2	1.43	0.501	0.735
氯离子 Cl^-	174.0^{b}	211.7^{ab}	276.3^{a}	279.5^{a}	25.74	0.004	0.541
钙离子 Ca^{2+}	0.79^{c}	2.02^{b}	2.12^{b}	4.17^{a}	0.700	<0.0001	0.290
磷离子 P^{5+}	0.09^{b}	0.10^{ab}	0.14^{a}	0.14^{a}	0.013	0.017	0.750
镁离子 Mg^{2+}	2.58^{b}	2.79^{ab}	2.73^{ab}	3.35^{a}	0.168	0.048	0.417

2.3　血清生化指标

饲粮添加不同水平的氯化铵对泌乳奶牛血清生化指标的影响见表4。随饲粮氯化铵添加量的增加，血清总蛋白浓度呈线性升高趋势（*P*=0.093），450 g/d组的总蛋白浓度在数值上大于其他3组，但差异不显著（*P*>0.05）；血清尿素浓度随氯化铵添加量的增加线性升高（*P*=0.018），且300 g/d组和450 g/d组显著高于对照组（*P*<0.05）；其他血清生化指标均未随

氯化铵添加量的增加呈现线性或二次变化（P>0.05）。

表 4　氯化铵对泌乳奶牛血清生化指标的影响

Table 4　Effects of AC on serum biochemical indices of lactating cows

项目 Items	氯化铵添加量 AC supplemental level/(g/d)				SEM	*P* 值 *P*-value	
	0	150	300	450		线性 Linear	二次 Quadratic
白蛋白 ALB/(g/L)	36.9	35.6	36.0	36.2	0.25	0.708	0.489
总蛋白 TP/(g/L)	71.6	71.9	70.8	76.2	1.21	0.093	0.156
球蛋白 GLB/(g/L)	34.7	36.4	34.8	40.0	1.24	0.219	0.536
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	45.2	47.0	43.2	38.4	1.85	0.223	0.485
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	26	25	24	23	0.6	0.300	0.853
谷草转氨酶 AST/(U/L)	79	71	73	76	1.8	0.768	0.514
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	3.87	3.60	3.85	3.70	0.064	0.448	0.444
尿素 UREA/(mmol/L)	4.92^{b}	5.33^{ab}	5.63^{a}	5.70^{a}	0.178	0.018	0.499
尿酸 UA/(μmol/L)	37.6	37.6	32.4	40.6	1.70	0.776	0.182
总胆固醇 TC/(mmol/L)	7.06	6.94	6.40	6.62	0.150	0.362	0.714
谷酰转移酶 GGT/(mmol/L)	48.6	43.2	53.5	59.8	3.54	0.506	0.714
胆碱酯酶 CHE/(mmol/L)	131	128	149	127	5.2	0.830	0.380
直接胆红素 DBIL/(mmol/L)	2.54	2.59	2.28	2.42	0.069	0.510	0.846
总胆红素 TBIL/(μ mol/L)	15.74	15.97	14.24	15.21	0.384	0.555	0.782
间接胆红素 IBIL/(μmol/L)	13.19	13.37	11.96	12.78	0.314	0.568	0.774
肌酐 CR/(μmol/L)	57	54	59	57	1.0	0.881	0.917
胆汁酸 TBA/(μmol/L)	26.5	31.4	28.5	24.8	1.42	0.659	0.338

3　讨　论

3.1　饲粮添加不同水平的氯化铵对泌乳奶牛干物质采食量、产奶量及乳成分的影响

氯化铵作为一种强效酸度调节剂能有效调控动物机体的酸碱状态[3]。然而，氯化铵适口性差且具有潜在的毒性作用，所以氯化铵在实际生产中的使用受到限制，否则会严重降低动物采食量并有可能引发毒性作用[14]。本试验中，相比于对照组，150 g/d组的干物质采食量在数值上有所升高，但当添加量增加至300 g/d时，干物质采食量开始显著降低，说明奶牛出于自身保护的目的已拒绝食入更多量的氯化铵。与干物质采食量的变化一致，产奶量也随氯化铵添加量的增加线性降低，不同的是从150 g/d组开始产奶就从数值上降低，300 g/d组的产奶量相比于对照组已显著降低，450 g/d组的产奶量继续降低。从干物质采食量和产奶量的变化上看，尽管氯化铵适口性差，但饲喂氯化铵所导致的干物质采食量下降可能更多是由氯化铵的毒性作用引起的。乳蛋白率随氯化铵添加量的增加有线性升高的趋势，这可能是由于氯化铵进入瘤胃后提供更多的氨氮促进了瘤胃微生物蛋白的合成进而提高了乳蛋白产量，但

是目前并没有相关研究证明氯化铵氮源能够提高微生物蛋白或者乳蛋白产量。相反，王梦芝等[15]研究不同分子形式的氮源对瘤胃微生物发酵及蛋白质合成的影响发现，以氯化铵作为氮源时，微生物蛋白产量最低且与其他组差异显著。

3.2　饲粮添加不同水平的氯化铵对泌乳奶牛血清、尿液离子浓度及尿液pH的影响。

饲粮添加不同水平的氯化铵对泌乳奶牛血清离子浓度的影响比较小，大部分离子的浓度并未受到显著影响，只有氯离子的浓度线性升高，且只有450 g/d组氯离子浓度显著高于对照组。血清钾离子的浓度有线性升高的趋势，可能是为了协助氢离子中和氯离子浓度升高所带来的负电荷，进而共同维持血液电中性。若仅氢离子中和负电荷维持血液电中性可能会引起血液pH的降低。曾有文献报道血浆氯离子浓度升高会伴随较低的血液pH[16]。本试验中尿液pH随饲粮氯化铵添加量的增加呈二次曲线降低，关于增加饲粮阴离子浓度能够降低尿液pH的报道较多[17-19]，监测尿液pH被认为是一种敏锐的评价动物机体酸碱状态的方法[20]。与血清离子浓度变化相比，尿液离子受氯化铵的影响较大。尿液氯离子的变化与血清氯离子变化一致，随氯化铵添加量的增加线性升高，这可能是为了维持机体稳态肾脏将血清过多的氯离子排入尿中。通常认为酸性饲粮能够增强骨钙动员促进骨钙释放入血液[21]，Block[22]和Joyce等[17]研究表明，饲喂阴离子饲粮能够提高血液钙离子浓度。然而，本研究中血清钙离子浓度变化不明显，尿液钙离子浓度随氯化铵添加量的增加线性升高。有文献报道，降低饲粮阴阳离子差可增加泌乳牛[23]、干奶牛[24]及围产期奶牛[25-26]尿液钙离子浓度。血清钙离子主要来源于骨羟磷酸钙，因此通常认为血清钙离子浓度的升高伴随着血清磷离子浓度的升高，Block[22]研究发现围产期奶牛饲喂阴离子饲粮能够提高血清磷离子的浓度。然而，大多数研究表明，血清磷离子浓度不受饲粮阴阳离子差的影响[19,27-28]。虽然血清离子受氯化铵影响较小，但从尿液离子浓度的变化看，饲粮中添加氯化铵确实影响到了奶牛机体的酸碱平衡，饲喂高剂量氯化铵后，大量氯离子进入血液可能会使奶牛处于一种代谢性酸中毒状态，促进了机体的钙代谢，从而使相关离子在尿液中的排泄量增加。

3.3　饲粮添加不同水平的氯化铵对泌乳奶牛血清生化指标的影响

肝脏作为反刍动物主要的代谢器官，对其营养状态的改变较为敏感。代谢性疾病能够引起肝细胞死亡，从而使谷丙转氨酶、谷草转氨酶及碱性磷酸酶等细胞酶从细胞释放进入血清，因此这些细胞酶是反映肝细胞损伤的重要信号物质[29-30]。本试验中，这些细胞酶活性并没有

发生明显改变，可能是试验使用的饲喂剂量尚未对肝脏造成明显损害。血液尿素、肌酐等是评价肾功能完整性的重要参数，其浓度的升高意味着肾功能的损伤[31]。本试验中，血清尿素浓度随氯化铵添加量的增加线性升高且2个高剂量组（300 g/d组和450 g/d组）显著高于对照组，这表明氯化铵添加量达到300 g/d时已经造成了一定程度的肾功能损伤。

4 结 论

氯化铵能够有效降低尿液pH，但摄入过多会造成一定程度的代谢紊乱，导致奶牛干物质采食量下降进而影响产奶量，甚至会造成一定程度的肾功能损伤。本试验研究发现，泌乳奶牛饲粮中氯化铵添加量不能超出300 g/d，推荐剂量为150 g/d。

参考文献:

[1] LEOSCHKE W L,ELVEHJEM C A.Prevention of urinary calculi formation in mink by alteration of urinary pH[J].Experimental Biology and Medicine,1954,85(1):42–44.

[2] GELFERT C C,LÖPTIEN A,MONTAG N,et al.Duration of the effects of anionic salts on the acid-base status in cows fed different anionic salts only once daily[J].Research in Veterinary Science,2009,86(3):529–532.

[3] GOFF J P,RUIZ R,HORST R L.Relative acidifying activity of anionic salts commonly used to prevent milk fever[J].Journal of Dairy Science,2004,87(5):1245–1255.

[4] MAVANGIRA V,CORNISH J M,ANGELOS J A.Effect of ammonium chloride supplementation on urine pH and urinary fractional excretion of electrolytes in goats[J].Journal of the American Veterinary Medical Association,2010,237(11):1299–1304.

[5] AUGUSTINSSON O,JOHANSSON K.Ammonium chloride induced acidosis and aldosterone secretion in the goat[J].Acta Physiologica Scandinavica,1986,128(4):535–540.

[6] JONES M L,STREETER R N,GOAD C L.Use of dietary cation anion difference for control of urolithiasis risk factors in goats[J].American Journal of Veterinary Research,2009,70(1):149–155.

[7] CROOKSHANK H R.Effect of ammonium salts on the production of ovine urinary calculi[J].Journal of Animal Science,1970,30(6):1002–1004.

[8] SHAW D H.Acute response of urine pH following ammonium chloride administration to

dogs[J].American Journal of Veterinary Research,1989,50(11):1829–1830.

[9] TATON G F,HAMAR D W,LEWIS L D.Evaluation of ammonium chloride as a urinary acidifier in the cat[J].Journal of the American Veterinary Medical Association,1984,184(4):433–436.

[10] MUELLER R K,COOPER S R,TOOPLIFF D R.Effect of dietary cation-anion difference on acid-base status and energy digestibility in sedentary horses fed varying levels and types of starch[J].Journal of Equine Veterinary Science,2001,21(10):498–502.

[11] IWABUCHI S,SUZUKI K,ABE I,et al.Comparison of the effects of isotonic and hypertonic sodium bicarbonate solutions on acidemic calves experimentally induced by ammonium chloride administration[J].Journal of Veterinary Medical Science,2003,65(12):1369–1371.

[12] OSTHER P J,ENGEL K,KILDEBERG P.Renal response to acute acid loading an organ physiological approach[J].Scandinavian Journal of Urology and Nephrology,2004,38(1):62–68.

[13] EFSA Panel on Additives and Products or Substances Used in Animal Feed.Scientific opinion on the safety and efficacy of ammonium chloride for bovines,sheep,dogs and cats[J].EFSA Journal,2012,10(6):2738.

[14] JORGENSEN N A.Combating milk fever[J].Journal of Dairy Science,1974,57(8):933–944.

[15] 王梦芝,喻礼怀,王洪荣,等.不同分子形式氮源对瘤胃微生物发酵及蛋白合成的影响[J].中国畜牧杂志,2010,46(5):20–24.

[16] PHILLIPPO M,REID G W,NEVISON I M.Parturient hypocalcaemia in dairy cows:effects of dietary acidity on plasma minerals and calciotrophic hormones[J].Research in Veterinary Science,1994,56(3):303–309.

[17] JOYCE P W,SANCHEZ W K,GOFF J P.Effect of anionic salts in prepartum diets based on alfalfa[J].Journal of Dairy Science,1997,80(11):2866–2875.

[18] PEHRSON B,SVENSSON C,GRUVAEUS I,et al.The influence of acidic diets on the acid-base balance of dry cows and the effect of fertilization on the mineral content of

grass[J].Journal of Dairy Science,1999,82(6):1310–1316.

[19] SHAHZAD M A,SARWAR M,MAHR-UN-NISA.Influence of varying dietary cation anion difference on serum minerals,mineral balance and hypocalcemia in *Nili Ravi* buffaloes[J].Livestock Science,2008,113(1):52–61.

[20] SEIFI H A,MOHRI M,ZADEH J K.Use of pre-partum urine pH to predict the risk of milk fever in dairy cows[J].Veterinary Journal,2004,167(3):281–285.

[21] VAN MOSEL M,WOUTERSE H S,VAN'T KLOOSTER A T.Effects of reducing dietary $([Na^{+}+K^{+}-[Cl^{-}+SO_4^{=}])$ on bone in dairy cows at parturition[J].Research in Veterinary Science,1994,56(3):270–276.

[22] BLOCK E.Manipulating dietary anions and cations for prepartum dairy cows to reduce incidence of milk fever[J].Journal of Dairy Science,1984,67(12):2939–2948.

[23] TUCKER W B,HOGUE J F,WATERMAN D F,et al.Role of sulfur and chloride in the dietary cation-anion balance equation for lactating dairy cattle[J].Journal of Animal Science,1991,69(3):1205–1213.

[24] TUCKER W B,HOGUE J F,ADAMS G D,et al.Influence of dietary cation-anion balance during the dry period on the occurrence of parturient paresis in cows fed excess calcium[J].Journal of Animal Science,1992,70(4):1238–1250.

[25] GAYNOR P J,MUELLER F J,MILLER J K,et al.Parturient hypocalcemia in Jersey cows fed alfalfa haylage-based diets with different cation to anion ratios[J].Journal of Dairy Science,1989,72(10):2525–2531.

[26] ROCHE J R,DALLEY D,MOATE P,et al.Dietary cation-anion difference and the health and production of pasture-fed dairy cows 2.Nonlactating periparturient cows[J].Journal of Dairy Science,2003,86(3):979–987.

[27] WU W X,LIU J X,XU G Z,et al.Calcium homeostasis,acid-base balance,and health status in periparturient Holstein cows fed diets with low cation-anion difference[J].Livestock Science,2008,117(1):7–14.

[28] RAZZAGHI A,ALIARABI H,TABATABAEI M M,et al.Effect of dietary cation-anion

difference during prepartum and postpartum periods on performance,blood and urine minerals status of Holstein dairy cow[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2012,25(4):486–495.

[29] GONZÁLEZ F D,MUIÑO R,PEREIRA V,et al.Relationship among blood indicators of lipomobilization and hepatic function during early lactation in high-yielding dairy cows[J].Journal of Veterinary Science,2011,12(3):251–255.

[30] KATARIA N,KATARIA A K.Use of serum gamma glutamyl transferase as a biomarker of stress and metabolic dysfunctions in *Rathi* cattle of arid tract in India[J].Journal of Stress Physiology & Biochemistry,2012,8(3):23–29.

[31] YAKUBA M T,BILBIS L S,LAWAL M,et al.Evaluation of selected parameters of rat liver and kidney function following repeated administration of yohimbine[J].Biokemistri,2003,15(2):50–56.

Effects of Ammonium Chloride on Performance, Serum and Urine Metabolism of Lactating Cows

WANG Kun[1] ZHAO Puyi[1] LIU Wei[1] BU Dengpan[1,2,3*] LIU Shijie[4] ZHANG Kaizhan[5]

(1. *State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*; 2. *CAAS-ICRAF Joint Laboratory on Agroforestry and Sustainable Animal Husbandry, Beijing 100081, China; 3. Synergetic Innovation Center of Food Safety and Nutrition, Harbin 150030, China*; 4. *China Feed Industry Association, Beijing* 100125, *China*; 5. *Beijing Sino Farm Co., Ltd., Beijing* 100128, *China*)

Abstract: The present study evaluated the effects of ammonium chloride on performance, serum and urine metabolism of lactating cows to determine the optimal supplemental level for lactating dairy cows. Forty-eight Holstein dairy cows, similarly in days in milk, body weight, milk yield and parity, were randomly assigned to 1 of 4 groups with 12 cows according to a completely randomized design. The supplemental level of ammonium chloride was 0 (control), 150, 300 and 450 g/d, respectively. The pre-trial lasted for 14 days and the trial lasted 56 days. The results showed as follows: 1) dry matter intake (P=0.012) and milk yield (P=0.008) decreased linearly as

*Corresponding author, professor, E-mail： burdenpan@126.com (责任编辑 王智航)

the supplemental level of ammonium chloride increased, and 300 and 400g/d groups were significantly lower than control group (*P*<0.05); no significant effects were observed on milk fat percentage and lactose percentage （*P*>0.05）, while milk protein percentage tended to be linearly increased （*P*=0.094）. 2) Urine pH decreased quadratically as ammonium chloride supplemental level increased (*P*=0.012), and 300 and 450g/d groups were significantly lower than control group (*P*<0.05); the concentrations of serum Cl^- (*P*=0.002) and urine Cl^- (*P*=0.004), Ca^{2+} (*P*<0.0001), P^{5+} (*P*=0.017) and Mg^{2+} (*P*=0.048) increased linearly as the supplemental level of ammonium chloride increased. 3) Serum urea concentration increased linearly as ammonium chloride supplemental level increased (*P*=0.018), and 300 and 450 g/d groups were significantly higher than control group (*P*<0.05). In conclusion, ammonium chloride supplemental level of lactating dairy cows should not exceed 300 g/d, and a more appropriate supplemental level is 150 g.

Key words: lactating cow; ammonium chloride; performance; serum and urine metabolism